

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra dopravního stavitelství

Křižovatka Výstavní – Halasova v Ostravě

Intersection Vystavni – Halasova in Ostrava-City

Student:

Patrik Tománek

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vladislav Křivda, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra dopravního stavitelství

Zadání bakalářské práce

Student:

Patrik Tománek

Studijní program:

B3607 Stavební inženýrství

Studijní obor:

3607R042 Dopravní inženýrství

Téma:

Křižovatka Výstavní - Halasova v Ostravě
Intersection Vystavni - Halasova in Ostrava-City

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je analyzovat bezpečnost silničního provozu na křižovatce Výstavní - Halasova v Ostravě. Práce bude obsahovat výsledky provedených dopravních průzkumů (průzkum intenzit, směrový průzkum, analýzu dopravní nehodovosti, videoanalýzu konfliktních situací atp.) a to v období před i po přestavbě této křižovatky. Budou provedeny potřebné kapacitní výpočty (dřívějšího, současného i výhledového stavu), návrhy úprav zadané křižovatky a simulační modely v programu PTV VISSIM.

Seznam doporučené odborné literatury:

Folprecht, Jan; Křivda, Vladislav. *Organizace a řízení dopravy I*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006. 158 s. ISBN 80-248-1030-1

Křivda, Vladislav. *Organizace a řízení dopravy II*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009. 154 s. ISBN 978-80-248-2123-8

TP 81 Navrhování světelných signalizačních zařízení na pozemních komunikacích: Technické podmínky. 2. vyd. Brno: CDV Brno, 2006, 124 s. ISBN 80-86502-30-9.

TP 135 Projektování okružních křižovatek na silnicích a místních komunikacích: Technické podmínky. Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, 2005, 54 s.

TP 188 Posuzování kapacity neřízených úrovnňových křižovatek: Technické podmínky. Liberec: EDIP, 2007, 64 s. ISBN 978-80-902527-6-9.

TP 234 Posuzování kapacity okružních křižovatek: Technické podmínky. Liberec: EDIP, 2011, 56 s. ISBN 978-80-87394-02-01.

TP 235 Posuzování kapacity světelně řízených křižovatek: Technické podmínky. Liberec: EDIP, 2011, 52 s. ISBN 978-80-87394-03-8.

ČSN 73 6102. *Projektování křižovatek na pozemních komunikacích* (vč. změn)

Uživatelský manuál k programu PTV VISSIM

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

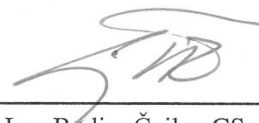
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladislav Křivda, Ph.D.**

Datum zadání: 30.10.2015

Datum odevzdání: 02.05.2016



Ing. Ivan Fencel, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Autorské prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).

Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

Souhlasím s tím, že bakalářská práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

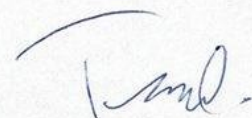
V Ostravě dne 2.5.2016


Patrik Tománek

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 2. 5. 2016



Patrik Tománek

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. ing. Vladislavu Křivdovi za jeho rady a čas, který mi věnoval při řešení bakalářské práce.

Dále pak Ing. Tomášovi Malinovi, za poskytnutí podkladů nezbytných k této bakalářské práci.

Anotace

Cílem bakalářské práce je provést porovnání dvou různých režimů organizace a řízení provozu na křižovatce (průsečná se zalomenou předností; okružní) za účelem zhodnocení rekonstrukce z hlediska bezpečnosti silničního provozu. Po úvodním seznámení s křižovatkou ve své práci uvádím výsledky provedených dopravních průzkumů (průzkum intenzit, směrový průzkum, analýzu dopravní nehodovosti, atp.) v období před i po přestavbě. V následující kapitole se zabývám kapacitními výpočty, návrhem úprav této křižovatky a mikrosimulací v programu PTV VISSIM. Na závěr jsem zhodnotil efektivnost přestavby, porovnáním výsledků z mých dopravních průzkumů a provedených výpočtů.

Klíčová slova:

dopravní průzkum, výpočet RPDI, videoanalýza konfliktních situací, konfliktní situace, dopravní nehodovost, okružní křižovatka, AutoTURN, PTV VISSIM

Anotation

The aim of the thesis is to compare two different modes of organization and management of traffic at the intersection (with kinked highway; roundabout) to assess reconstruction of road safety. After initial familiarization with the intersection I mention the results of traffic surveys (survey intensity, directional survey analysis of traffic accidents, etc .) in the period before and after the conversion . The next chapter is about capacitive calculations, design modifications of this intersection and microsimulation program PTV VISSIM. In conclusion, I evaluated the effectiveness of reconstruction, comparing the results of my traffic surveys and calculations.

Keywords:

Traffic Research, Calculation of Average Daily Traffic, Videoanalysis of Potential Collision Situations, Potential Collision Situations, Roundabout, AutoTURN, PTV VISSIM

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	2
Seznam použitého značení	3
1. Úvod.....	5
2. Analýza křižovatky před rekonstrukcí	6
2.1 Širší vztahy křižovatky	6
2.2 Popis křižovatky	7
2.3 Zjištěné problémy na křižovatce	7
2.4 Dopravní nehodovost	8
2.5 Konfliktní situace	9
2.6 Dopravní průzkum	11
2.7 Kapacitní výpočet.....	12
2.8 Přehled výsledků kapacitního výpočtu.....	21
3. Analýza křižovatky po rekonstrukci	22
3.1 Popis křižovatky	22
3.2 Dopravní nehodovost	23
3.3 Dopravní průzkum	24
3.4 Kapacitní výpočet.....	30
3.5 Přehled výsledků kapacitního výpočtu OK	35
4. Zhodnocení rekonstrukce	35
5. Návrhy úprav.....	36
6. Vizualizace v programu PTV VISSIM.....	37
7. Závěr	38
Seznam použitých zdrojů.....	39
Seznam použitých obrázků.....	40
Seznam příloh	40

Seznam použitých zkratk a symbolů

DZ	dopravní značení
TP	technické podmínky
ÚKD	úroveň kvality dopravy
OK	okružní křižovatka
DN	dopravní nehoda
DZ	dopravní značení
RPDI	roční průměrná denní intenzita
koef.	koeficient
PČR	Policie České republiky
Kč	Korun českých

Seznam použitého značení

I	hodinová intenzita křižovatky [pvoz/h]
I_{sh}	špičková hodinová intenzita křižovatky [voz/h]
$I_{sh,2036}$	výhledová špičková hodinová intenzita pro rok 2036 [voz/h]
I_d	denní intenzita dopravy v den průzkumu [voz/den]
I_h	hodinové intenzity dopravy v době průzkumu [voz/doba průzkumu]
I_t	týdenní průměr denních intenzit [voz/den]
k_{2036}	koeficient vývoje intenzit dopravy pro rok 2031 [-]
$k_{t,RPDI}$	přepočtový koef. Týdenního průměru denní intenzity dopravy na roční průměr denních intenzit dopravy [-]
$RPDI$	roční průměr denních intenzit dopravy [voz/den]
$RPDI_{2036}$	odhad ročního průměru denních intenzit v roce 2036 [voz/den]
a_v	stupeň vytížení [-]
C_n	kapacita jízdního pruhu n-tého proudu [pvoz/h]
G_n	základní kapacita jízdního pruhu n-tého proudu [pvoz/h]
$N_{95\%}$	délka fronty [m]
p_{ks}	počet konfliktních situací za hodinu [KS/h]
Rez_n	rezerva kapacity jízdního pruhu dopravního proudu n [pvoz/h]
t_{fn}	následný časový odstup proudu n [s]
t_{gn}	kritický časový odstup proudu n [s]
t_{wn}	střední doba zdržení vozidel dopravního proudu n [s]
$v_{85\%}$	rychlost jízdy, která vyjadřuje rychlost, kterou nepřekročí více jak 85% aut [km/h]
C	kapacita vjezdu [pvoz/h]
Rez	rezerva kapacity vjezdu [%]

Δ	minimální časový odstup mezi vozidly jedoucími na okruhu za sebou [s]
Kč	Korun českých

1. Úvod

Identifikace lokalit častých dopravních nehod a jejich následné řešení je i jedním z úkolů pro dopravně – inženýrskou práci projektanta. Tyto lokality jsou často koncentrovány v určitých úsecích silniční sítě nebo sítě místních komunikací, které se vyznačují podobnou charakteristikou. Jedná se často o dopravně závadná místa, kde pravděpodobnost vzniku nehody je ovlivněna značným množstvím rizikových faktorů. Tyto faktory souvisejí s hlavními částmi dopravního systému: infrastrukturou, jejím vybavením, vozidly a účastníky silničního provozu. Rizikovým je kterýkoliv faktor, který zvyšuje pravděpodobnost vzniku nehody. Statisticky pak lze určit, že k 30 – 40 % dopravních nehod dochází na cca 3 % délky komunikační sítě. Je nutno tedy tato místa spolehlivě identifikovat a dopravně – inženýrskými opatřeními eliminovat jejich vliv na vznik dopravních nehod. [1]

Cílem bakalářské práce je analýza původního a nového stavu křižovatky, jejich vzájemné porovnání a zhodnocení z hlediska bezpečnosti provozu. Jedná se po původní stav – průsečná křižovatka se zalomenou předností a nový stav – miniokružní křižovatka. Rekonstrukce byla dokončena 1. 10. 2014.

Práce obsahuje výsledky provedených dopravních průzkumů, kapacitních výpočtů, zhodnocení rekonstrukce v době před a po rekonstrukci křižovatky, na základě těchto údajů jsou navrženy možné úpravy za účelem zvýšení bezpečnosti silničního provozu v dané křižovatce.

2. Analýza křižovatky před rekonstrukcí

2.1 Širší vztahy křižovatky

Křižovatka se nachází v Ostravě ve východní části Vítkovic, na styku dvou místních komunikací skupiny B – sběrné.

Rameno **A** – ul. Výstavní směřuje na Jih, slouží jako rampa pro ulici Rudná, jedná se o dvoupruhovou komunikaci

Rameno **B** – ul. Halasova, čtyř pruhová komunikace, jeden z pruhů je odbočovací pruh vpravo, směřující do ramena C. V přibližné vzdálenosti 70 m na Východ od řešené křižovatky se nachází mimoúrovňová kosodélná křižovatka s ul. Místecká.

Rameno **C** – ul. Výstavní směřuje přes průmyslově zastavěnou část Vítkovic na městskou část Mariánské Hory. Před křižovatkou je přidán samostatný pruh pro odbočení vlevo na rameno B.

Rameno **D** – ul. Halasova směřuje na Západ, do pomyslného centra Vítkovic, jedná se o dvoupruhovou komunikaci v celé délce.



Obr.: 1 Situace křižovatky [2]

2.2 Popis křižovatky

Jednalo se o průsečnou křižovatku se zalomenou předností, kde hlavní ulice byla vedena mezi rameny **A** a **B**. Výškové převýšení v ploše křižovatky i přilehlých oblastech je zanedbatelné. Přednost na vedlejší komunikaci byla upravena svislým dopravním značením (dále už jen DZ) P4, "Dej přednost v jízdě!" a dodatkovou tabulkou s vyznačením vedení zalomené přednosti. DZ upravující přednost na hlavní komunikaci tvořila P2 „Hlavní pozemní komunikace“ a dodatková tabulka s vyznačením zalomené přednosti [3].

Použité vodorovné značení:

V 1a, V 2a	směrové rozdělení jízdních pruhů
V 4	vodící čára
V 5	příčná souvislá čára
V 7	přechod pro chodce
V 8a	přejezd pro cyklisty
V 9a	směrové šipky
V 13a	dopravní stíny[3]

2.3 Zjištěné problémy na křižovatce

Křižovatka byla před rekonstrukcí problematická z hlediska plynulosti provozu. Díky zalomené přednosti a velké intenzitě na hlavní komunikaci se tvořily fronty na vedlejších komunikacích, obzvlášť problémové bylo levé odbočení z ramena C, V dopravních špičkách délka fronty přesahovala až přes celou délku (tj. $\pm 30\text{ m}$) odbočovacího pruhu vlevo na rameni C, viz obr. 2. Takto vniklá situace znemožnila vozidlům ostatních proudů ramena C příjezd k hranici křižovatky.

Dalším problémem je předimenzovaná plocha křižovatky, která zvyšuje nepřehlednost



Obr. 2 délka fronty na rameni C [4]

2.4 Dopravní nehodovost

Dle záznamů Policie České republiky se na křižovatce nebo v její těsné blízkosti za období 1. 1. 2007 – 4. 04. 2016 stalo **43** dopravních nehod (dále už jen DN), **6** z nich s následky na zdraví [5]. Dne 1. 1. 2009 nabyla v planost novela zákona o dopravních nehodách – zvýšení limitu hmotné škody pro povinnost hlášení nehody na Policii České republiky z původních 50 000 Kč na 100 000 Kč. Od platnosti výše zmíněné novely zákona se na křižovatce nahlásilo **24** dopravních nehod, z toho **6** s následky na zdraví[5].



Obr. 3 Grafické znázornění DN za období 1. 1. 2007 – 4. 4. 2016 [5]

Nejčastější příčiny vzniku DN:

nerespektování příkazu dopravní značky P4 „Dej přednost v jízdě“	20 DN
nedání přednosti vozidlům zprava	9 DN
nedodržení bezpečné vzdálenosti za vozidlem	5 DN

Tabulka č.1: Dopravní nehodovost před a po rekonstrukci

Období	D _n	DN s následky na zdraví
Před rekonstrukcí 1. 1. 2007 – 1. 10.2014	40	6
Po rekonstrukci 1. 10. 2014 – 4. 4. 2016	3	0

Poznámka k tabulce č. 1: pouze informační účel, porovnání nehodovosti před a po rekonstrukci se nachází v kapitole 6.

2.5 Konfliktní situace

Konfliktní situace je takový okamžik a situace v silničním provozu, kdy vzniká (nebo může vzniknout) pro některé jeho účastníky větší než obvyklá míra nebezpečí. Každé dopravní nehodě předchází konfliktní situace. Konfliktní situace jsou tedy potenciální nehodové situace.[6]

Pozorované konfliktní situace jsou zaznamenávány pomocí trojmístného klasifikačního symbolu složeným z číslice, písmene (resp. písmen) a opět z číslice (obr. č. 3) [7]



Obr. 3 Způsob zaznamenávání konfliktních situací [2]

Tab. č.1: Účastníci konfliktu [5]

Kategorie:	Znak:
chodec	1 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
automobil	2 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
tramvaj	3 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
chodec × automobil	4 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
chodec × tramvaj	5 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
automobil × automobil	6 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
automobil × tramvaj	7 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
tramvaj × tramvaj	8 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
jiné (cyklista apod.)	9 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Tab. č.2: Způsoby konfliktu [5]

Kategorie:	Znak:
možnost střetu s příčně jedoucím	<input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/>
možnost střetu s protijedoucím	<input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/>
možnost střetu ve stykovém bodě	<input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
možnost střetu najetím zezadu	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/>
možnost střetu se souběžně jedoucím	<input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/>
možnost střetu vlivem parkovacích manévřů	<input type="checkbox"/> P <input type="checkbox"/>
možnost střetu vlivem otáčení	<input type="checkbox"/> O <input type="checkbox"/>
vjezd (vstup) na červenou	<input type="checkbox"/> č <input type="checkbox"/>
zavinil chodec	<input type="checkbox"/> c h <input type="checkbox"/>
zavinilo vozidlo	<input type="checkbox"/> v <input type="checkbox"/>
zavinil cyklista	<input type="checkbox"/> c <input type="checkbox"/>
agresivita	<input type="checkbox"/> a <input type="checkbox"/>
pasivita	<input type="checkbox"/> p <input type="checkbox"/>
vlivem zastavení před přechodem pro chodce	<input type="checkbox"/> s <input type="checkbox"/>
vlivem fronty na křižovatce	<input type="checkbox"/> f <input type="checkbox"/>
vlivem blízké křižovatky se SSZ	<input type="checkbox"/> x <input type="checkbox"/>

Tab. č.3: Závažnost konfliktu [5]

Kategorie:	Kritérium:	Znak:
potenciální konfliktní situace (bez reakce)	zvýšení plynulosti provozu nebo akce bez možných následků	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 1
konfliktní situace (bez násilné reakce)	narušení provozu nebo bez reakce, ale s možnými následky	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2
konfliktní situace (ostrá reakce)	úhybná akce – prudké brzdění nebo náhlé vybočení	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 3
dopravní nehoda	- střet vozidel - s účastí chodce - havárie	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 4

Video analýzu konfliktních situací jsem provedl na hodinovém záznamu pořízeném dne 1. listopadu 2013.

Kategorizované konfliktní situace:

6 Cs 2 – Četnost 1x, automobil x automobil. Vozidlo 1 odbočující vpravo z ramena D po najetí do křižovatky dává přednost chodci, vozidlo 2, jedoucí po hlavní zastavuje a dává přednost vozidlu 1. Možnost střetu ve stykovém bodě – závažnost konfliktu 1.

6 Av 2 – Četnost 1x, automobil x automobil. Vozidlo 1, jedoucí z problémového ramena D nerespektovalo přednost jízdy zprava a provedlo „rychlou kličku“ před vozidlem, dávajícím přednost vozidlům na hlavní. Možnost příčného střetu – závažnost konfliktu 2.

Ostatní konfliktní situace

Uvádím zvlášť, z důvodu nekategorizovatelnosti podle trojmístného klasifikačního symbolu.

Nerespektování vodorovného dopravního značení – zejména dopravní stín na rameni C před odbočovacím pruhem vpravo, dále stop čáry na výše jmenovaném pruhu.

Úmyslné najetí na chodník, za účelem objetí kolony aut, přesahující přes délku odbočovacího pruhu vlevo na rameni C.

2.6 Dopravní průzkum

Hodinový záznam této křižovatky byl proveden 1. listopadu roku 2013 inženýrem Tomášem Malinou. Pořízen byl během běžného pátku a to ve špičkové hodině mezi 14:00 a 15:00. Použití přepočtu vozidel nadřazených proudů by vedlo k nepřesným výpočtům. S ohledem na přesnost a jednoduchost metodiky výpočtu je skladba nadřazených proudů zanedbávána, viz tab. č. 4.

Tab. č.4: Intenzity dopravních proudů

$I_1 =$	19 voz/h	$I_7 =$	454 voz/h
$I_2 =$	182 voz/h	$I_8 =$	142 voz/h
$I_3 =$	79 voz/h	$I_9 =$	347 voz/h
$I_4 =$	3 voz/h	$I_{10} =$	149 voz/h
$I_5 =$	54 voz/h	$I_{11} =$	158 voz/h
$I_6 =$	159 voz/h	$I_{12} =$	24 voz/h

Pozn.: I_n = Intenzita n -tého proudu

2.7 Kapacitní výpočet

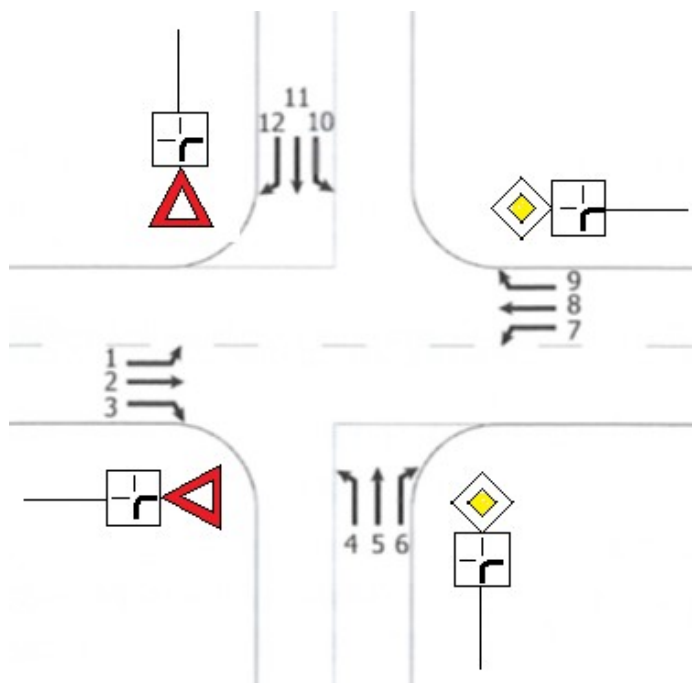
Stupně podřazenosti dopravních proudů

I. Stupeň: 6,7,8,9

II. Stupeň: 3,4,5

III. Stupeň: 1,2,12

IV. Stupeň: 10,11



Obr. 4: schéma křižovatky s očíslovanými dopravními proudy.

Rozhodující intenzity nadřazených proudů jsou základní proměnnou při výpočtu základní kapacity vedlejších dopravních proudů, v tomto případě se jedná o dopravní proudy druhého, třetího a čtvrtého stupně (3,4,5,12,1,2,10,11). Následující vzorce jsou převzaty z tabulky z Technických podmínek (dále už jen TP) 188. Popis uveden pod výpočty.

2.7.1 Rozhodující intenzity nadřazených proudů

Výslednou hodnotu rozhodující intenzity jsem získal sečtením jednotlivých intenzit nadřazených proudů. V případě, že jízdní proud pro odbočení vpravo z hlavní komunikace je umístěn na samostatném jízdním pruhu, dosazují za intenzitu 0.[8]

$$I_{H3} = I_7 + 0,5 \cdot I_8 + 0,5 \cdot I_9 = 454 + 0,5 \cdot 142 + 0,5 \cdot 0 \doteq \mathbf{525 \text{ voz/h}}$$

$$I_{H4} = I_7 + I_8 + 0,5 \cdot I_9 = 454 + 142 + 0,5 \cdot 0 \doteq \mathbf{596 \text{ voz/h}}$$

$$I_{H5} = I_7 + I_8 + I_9 = 454 + 142 + 347 = \mathbf{943 \text{ voz/h}}$$

$$I_{H12} = I_4 + 0,5 \cdot I_5 + 0,5 \cdot I_7 + I_8 + I_9 = 5 + 0,5 \cdot 54 + 0,5 \cdot 454 + 142 + 0 \doteq \\ \doteq \mathbf{401 \text{ voz/h}}$$

$$I_{H1} = I_4 + I_5 + 0,5 \cdot I_6 + 0,5 \cdot I_7 + I_8 + I_9 = \\ = 5 + 54 + 0,5 \cdot 159 + 0,5 \cdot 454 + 142 + 347 \doteq \mathbf{855 \text{ voz/h}}$$

$$I_{H2} = I_4 + I_5 + I_6 + I_7 + 0,5 \cdot I_8 = 5 + 54 + 159 + 454 + 0,5 \cdot 142 = \mathbf{743 \text{ voz/h}}$$

$$I_{H10} = I_1 + I_2 + 0,5 \cdot I_3 + 0,5 \cdot I_4 + I_5 + I_6 + I_7 + I_8 = \\ = 19 + 182 + 0,5 \cdot 79 + 0,5 \cdot 5 + 54 + 159 + 454 + 142 = \mathbf{1052 \text{ voz/h}}$$

$$I_{H11} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + 0,5 \cdot I_5 + 0,5 \cdot I_6 + I_7 + I_8 = \\ = 19 + 182 + 79 + 5 + 0,5 \cdot 54 + 0,5 \cdot 159 + 454 + 14 \doteq \mathbf{988 \text{ voz/h}}$$

2.7.2 Kritická mezera

Kritickou mezeru jsem vypočítal dosazením rychlosti jízdy $v_{85\%}$ [km/h] do vzorců rozdělených podle druhu dopravního proudu v TP 188 [8].

$$t_{g3} = 2,8 + 0,038 \cdot v_{85\%} = 2,8 + 0,038 \cdot 50 \doteq \mathbf{4,7 \text{ s}}$$

$$t_{g4} = 3,4 + 0,021 \cdot v_{85\%} = 3,4 + 0,021 \cdot 50 \doteq \mathbf{4,5 \text{ s}}$$

$$t_{g5} = 3,4 + 0,021 \cdot v_{85\%} = 3,4 + 0,021 \cdot 50 \doteq \mathbf{4,5 \text{ s}}$$

$$t_{g12} = 2,8 + 0,038 \cdot v_{85\%} = 2,8 + 0,038 \cdot 50 \doteq \mathbf{4,7 \text{ s}}$$

$$t_{g1} = 5,2 + 0,022 \cdot v_{85\%} = 5,2 + 0,022 \cdot 50 \doteq \mathbf{6,3 \text{ s}}$$

$$t_{g2} = 4,4 + 0,036 \cdot v_{85\%} = 4,4 + 0,036 \cdot 50 \doteq \mathbf{6,2 \text{ s}}$$

$$t_{g10} = 5,2 + 0,022 \cdot v_{85\%} = 5,2 + 0,021 \cdot 50 \doteq \mathbf{6,3 \text{ s}}$$

$$t_{g11} = 4,4 + 0,036 \cdot v_{85\%} = 4,4 + 0,036 \cdot 50 \doteq \mathbf{4,2 \text{ s}}$$

Z důvodu, že se neprovedlo měření rychlosti jízdy $v_{85\%}$ v místě křižovatky se rychlost jízdy v místě křižovatky nahradila nejvyšší dovolenou rychlostí na komunikaci, tj 50 km/h .

2.7.3 Následný odstup

Hodnotu následného odstupů vyčteme z tabulky v TP 188, rozlišujeme podle druhu dopravního proudu a úpravy v přednosti v jízdě[8].

$$t_{f3} = \mathbf{3,1 \text{ s}}$$

$$t_{f4} = \mathbf{2,6 \text{ s}}$$

$$t_{f5} = \mathbf{2,6 \text{ s}}$$

$$t_{f12} = \mathbf{3,7 \text{ s}}$$

$$t_{f1} = \mathbf{3,5 \text{ s}}$$

$$t_{f2} = \mathbf{3,3 \text{ s}}$$

$$t_{f10} = \mathbf{4,1 \text{ s}}$$

$$t_{f11} = \mathbf{3,9 \text{ s}}$$

2.7.4 Základní kapacita

Kapacita dopravních nadřazených dopravních proudů I. stupně se všeobecně udává hodnotou 1800 pvoz/hod . Pro výpočet základní kapacity ostatních proudů jsem použil vztah [8]:

$$G_n = \frac{3600}{t_f} \cdot e^{-\frac{I_H}{3600} \cdot (tg - \frac{tf}{2})} \quad /1/,$$

kde

G_n základní kapacita jízdního pruhu n-tého proudu [pvoz/h]

I_{Hn} rozhodující intenzita nadřazených proudů [pvoz/hod]

t_g kritický časový odstup [s]

t_f následný časový odstup [s].

$$G_3 = \frac{3600}{t_{f3}} \cdot e^{-\frac{IH_3}{3600} \cdot (tg_3 - \frac{tf_3}{2})} = \frac{3600}{3,1} \cdot e^{-\frac{525}{3600} \cdot (4,7 - \frac{3,1}{2})} = \mathbf{734 \text{ pvoz/hod}}$$

$$G_4 = \frac{3600}{t_{f4}} \cdot e^{-\frac{IH_4}{3600} \cdot (tg_3 - \frac{tf_4}{2})} = \frac{3600}{2,6} \cdot e^{-\frac{596}{3600} \cdot (4,5 - \frac{2,6}{2})} = \mathbf{822 \text{ pvoz/hod}}$$

$$G_5 = \frac{3600}{t_{f5}} \cdot e^{-\frac{IH_5}{3600} \cdot (tg_5 - \frac{tf_5}{2})} = \frac{3600}{2,6} \cdot e^{-\frac{904}{3600} \cdot (4,5 - \frac{2,6}{2})} = \mathbf{607 \text{ pvoz/hod}}$$

$$G_{12} = \frac{3600}{t_{f12}} \cdot e^{-\frac{IH_{12}}{3600} \cdot (tg_{12} - \frac{tf_{12}}{2})} = \frac{3600}{3,7} \cdot e^{-\frac{401}{3600} \cdot (4,7 - \frac{3,7}{2})} = \mathbf{708 \text{ pvoz/hod}}$$

$$G_1 = \frac{3600}{t_{f1}} \cdot e^{-\frac{IH_1}{3600} \cdot (tg_1 - \frac{tf_1}{2})} = \frac{3600}{3,5} \cdot e^{-\frac{855}{3600} \cdot (6,3 - \frac{3,5}{2})} = \mathbf{349 \text{ pvoz/hod}}$$

$$G_2 = \frac{3600}{t_{f2}} \cdot e^{-\frac{IH_2}{3600} \cdot (tg_2 - \frac{tf_2}{2})} = \frac{3600}{3,3} \cdot e^{-\frac{743}{3600} \cdot (6,2 - \frac{3,3}{2})} = \mathbf{427 \text{ pvoz/hod}}$$

$$G_{10} = \frac{3600}{t_{f10}} \cdot e^{-\frac{IH_{10}}{3600} \cdot (tg_{10} - \frac{tf_{10}}{2})} = \frac{3600}{4,1} \cdot e^{-\frac{1052}{3600} \cdot (6,3 - \frac{4,1}{2})} = \mathbf{254 \text{ pvoz/hod}}$$

$$G_{11} = \frac{3600}{t_{f11}} \cdot e^{-\frac{IH_{11}}{3600} \cdot (tg_{11} - \frac{tf_{11}}{2})} = \frac{3600}{3,9} \cdot e^{-\frac{988}{3600} \cdot (4,2 - \frac{3,9}{2})} = \mathbf{288 \text{ pvoz/hod}}$$

Pozn.: Dle očekávání je základní kapacita problémových dopravních proudů nejnižší.

2.7.5 Pravděpodobnost nevzdutého stavu

Výpočet se provádí z důvodu nutnosti zohlednit pravděpodobnost nevzdutí rozhodujících nadřazených dopravních proudů. Pro výpočet jsem použil následujících vztahů: [8].

$$a_{vn} = \frac{I_n}{C_n} \quad /2/,$$

$$p_{0,n} = \max(1 - a_{vn}; 0) \quad /3/,$$

kde

a_{vn} stupeň vytížení pro n-tý proud [-]

I_n intenzita dopravy n-tého jízdního proudu [pvoz/h]

C_n kapacita jízdního n-tého jízdního proudu [pvoz/h].

Dosazení do vzorce /2/ :

$$a_{v1} = \frac{I_1}{C_1} = \frac{19}{349} = \mathbf{0,06} [-]$$

$$a_{v2} = \frac{I_2}{C_2} = \frac{182}{386} = \mathbf{0,47} [-]$$

$$a_{v4} = \frac{I_4}{C_4} = \frac{5}{822} = \mathbf{0,01} [-]$$

$$a_{v5} = \frac{I_5}{C_5} = \frac{54}{607} = \mathbf{0,09} [-]$$

Dosazení do vzorce /3/:

$$p_{0,1} = \max(1 - a_{v1}; 0) = \max(1 - 0,06 ; 0) = \mathbf{0,94} [-]$$

$$p_{0,2} = \max(1 - a_{v2}; 0) = \max(1 - 0,47 ; 0) = \mathbf{0,53} [-]$$

$$p_{0,4} = \max(1 - a_{v4}; 0) = \max(1 - 0,01 ; 0) = \mathbf{0,99} [-]$$

$$p_{0,5} = \max(1 - a_{v5}; 0) = \max(1 - 0,09 ; 0) = \mathbf{0,91} [-]$$

2.7.6 Výsledná kapacita

Výsledná kapacita dopravních proudů **I. stupně** viz podkapitola 2.7.4.

$$C_6 = 1800 \text{ pvoz}/h$$

$$C_7 = 1800 \text{ pvoz}/h$$

$$C_8 = 1800 \text{ pvoz}/h$$

$$C_9 = 1800 \text{ pvoz}/h$$

Při výpočtu výsledné kapacity C_n se u dopravních proudů **II. stupně** postupuje podle následujícího vztahu:

$$C_n = G_n \quad /4/,$$

kde

C_n kapacita jízdního n-tého dopravního proudu [pvoz/hod]

G_n základní kapacita jízdního pruhu n-tého proudu [pvoz/hod].

Dosazení do vzorce /4/:

$$C_3 = G_3 = 734 \text{ pvoz}/h$$

$$C_4 = G_4 = 822 \text{ pvoz}/h$$

$$C_5 = G_5 = 607 \text{ pvoz}/h$$

Výsledná kapacita dopravních proudů **III. stupně** se vypočítá dle vztahů:

$$C_{12} = G_{12} \cdot p_{0,4} \quad /5/,$$

$$C_1 = G_1 \cdot p_{0,4} \cdot p_{0,5} \quad /6/,$$

$$C_2 = G_2 \cdot p_{0,4} \cdot p_{0,5} \quad /7/,$$

kde

C_{12}	C_1	C_2	kapacita jízdního pruhu pro proudy 12,1,2 [pvoz/h]
G_{12}	G_1	G_2	základní kapacita jízdního pruhu pro proudy 12,1,2 [pvoz/h]
$p_{0,4}$	$p_{0,5}$		pravděpodobnost současného nevzdutí proudů 4,5 [-].

Dosazení do vzorců /5/, /6/ a /7/:

$$C_{12} = G_{12} \cdot p_{0,4} = 708 \cdot 0,99 = \mathbf{704 \text{ pvoz/h}}$$

$$C_1 = G_1 \cdot p_{0,4} \cdot p_{0,5} = 349 \cdot 0,99 \cdot 0,91 = \mathbf{316 \text{ pvoz/h}}$$

$$C_2 = G_2 \cdot p_{0,4} \cdot p_{0,5} = 427 \cdot 0,99 \cdot 0,91 = \mathbf{386 \text{ pvoz/h}}$$

Výsledná kapacita dopravních proudů **IV. stupně** se vypočítá dle vztahů:

$$C_{10} = G_{10} \cdot p_{0,1} \cdot p_{0,2} \cdot p_{0,4} \cdot p_{0,5} \quad /8/ ,$$

$$C_{11} = G_{11} \cdot p_{0,1} \cdot p_{0,2} \cdot p_{0,4} \cdot p_{0,5} \quad /9/ ,$$

kde

C_{10}	C_{11}	kapacita jízdního pruhu pro proudy 10,11 [pvoz/h]
----------	----------	---

G_{10}	G_{11}	základní kapacita jízdního pruhu pro proudy 10,11 [pvoz/h]
----------	----------	--

$p_{0,1}$	$p_{0,2}$	
-----------	-----------	--

$p_{0,4}$	$p_{0,5}$	pravděpodobnosti současného nevzdutí proudů 1,2,4,5 [-].
-----------	-----------	--

Dosazení do vzorců /8/ a /9/:

$$C_{10} = G_{10} \cdot p_{0,1} \cdot p_{0,2} \cdot p_{0,4} \cdot p_{0,5} = 254 \cdot 0,94 \cdot 0,53 \cdot 0,99 \cdot 0,91 = \mathbf{114 \text{ pvoz/h}}$$

$$C_{11} = G_{11} \cdot p_{0,1} \cdot p_{0,2} \cdot p_{0,4} \cdot p_{0,5} = 288 \cdot 0,94 \cdot 0,53 \cdot 0,99 \cdot 0,91 = \mathbf{142 \text{ pvoz/h}}$$

Pozn.: Z výpočtů vyplývá, že problémové proudy 10 a 11 mají nízké hodnoty kapacity.

2.7.7 Rezerva kapacity

Rezervu kapacity Rez_n vypočítáme následujícím vztahem: [8]

$$Rez_n = C_n - I_n \quad /10/,$$

$$Rez_n = (1 - I_n \cdot C_n) \cdot 100 \quad /11/,$$

kde

Rez_n rezerva kapacity n-tého jízdního pruhu [pvoz/h]

C_n kapacita jízdního n-tého jízdního proudu [pvoz/h]

I_n intenzita dopravy n-tého jízdního proudu [pvoz/h].

Dosazení do vzorce /10/:

$$Rez_6 = C_6 - I_6 = 1800 - 159 = \mathbf{1641} \text{ pvoz/h} \quad (91\%)$$

$$Rez_7 = C_7 - I_7 = 1800 - 454 = \mathbf{1346} \text{ pvoz/h} \quad (75\%)$$

$$Rez_8 = C_8 - I_8 = 1800 - 142 = \mathbf{1658} \text{ pvoz/h} \quad (92\%)$$

$$Rez_9 = C_9 - I_9 = 1800 - 347 = \mathbf{1453} \text{ pvoz/h} \quad (81\%)$$

$$Rez_3 = C_3 - I_3 = 734 - 79 = \mathbf{551} \text{ pvoz/h} \quad (89\%)$$

$$Rez_4 = C_4 - I_4 = 882 - 3 = \mathbf{879} \text{ pvoz/h} \quad (99\%)$$

$$Rez_5 = C_5 - I_5 = 607 - 54 = \mathbf{553} \text{ pvoz/h} \quad (91\%)$$

$$Rez_{12} = C_{12} - I_{12} = 704 - 24 = \mathbf{680} \text{ pvoz/h} \quad (94\%)$$

$$Rez_1 = C_1 - I_1 = 316 - 19 = \mathbf{297} \text{ pvoz/h} \quad (97\%)$$

$$Rez_2 = C_2 - I_2 = 386 - 182 = \mathbf{204} \text{ pvoz/h} \quad (42\%)$$

$$Rez_{10} = C_{10} - I_{10} = 114 - 149 = \mathbf{-35} \text{ pvoz/h} \quad (-31\%)$$

$$Rez_{11} = C_{11} - I_{11} = 142 - 158 = \mathbf{-16} \text{ pvoz/h} \quad (-11\%)$$

Pozn.: V závorce odsazenou za rezervou [pvoz/hod] je uvedeno procentuální vyjádření rezervy.

2.7.8 Délka fronty na vjezdech

Počítá se pouze na podřadných dopravních proudech II., III. a IV. stupně podřazenosti dle vztahu: [8]

$$N_{95\%} = \frac{3}{2} \cdot C_n \cdot \left(a_{vn} - 1 + \sqrt{(1 - a_{vn})^2 + 3 \cdot \frac{8 \cdot a_{vn}}{C_3}} \right) \quad /11/,$$

kde

$N_{95\%}$ délka fronty [m]

a_v stupeň vytížení [-]

C_n intenzita dopravy n-tého jízdního proudu [pvoz/h].

Dosazení a výpočty jsem přiložil jako přílohu č. 2, pro větší přehlednost. Výsledky jsou uvedeny v následující podkapitole **2.8**, která sumarizuje výsledky kapacitního výpočtu.

2.7.9 Střední doba zdržení, úroveň kvality dopravy, délka fronty na vjezdech

Po určení rezervy kapacity odečteme střední dobu zdržení t_w z grafu č.1 uveden v příloze č.3. Z grafu č.1 také odečtem úroveň kvality dopravy (dále už jen ÚKD) a délku fronty na vjezdu jednotlivých dopravních proudů. Délka fronty odečtená z grafu je v tabulce výsledků uvedena v závorce, pro srovnání.

Výsledné hodnoty jsou uvedeny v následující podkapitole **2.8**, sumarizující výsledky kapacitního výpočtu.

2.8 Přehled výsledků kapacitního výpočtu

Tab. č.5: Výsledky kapacitního výpočtu neřízené křižovatky

Č. dopravního proudu	Stupeň podřazenosti	Střední doba zdržení $t_w[s]$	ÚKD	Délka fronty na vjezdech $N_{95\%}[m]$	
6	I	0	A		
7		0	A		
8		0	A		
9		0	A		
3	II	0	A	29	3
4		0	A	09	0
5		0	A	29	2
12	III	0	A	49	3
1		11	B	19	0
2		12	B	169	15
10	IV	Kap. překročena	F	79	80
11		Kap. překročena	F	88	90

Pozn.: Délka fronty $N_{95\%}$ vypočtená vztahem /11/ uvedena vlevo, $N_{95\%}$ odečtená z grafu je v tabulce výsledků uvedena v závorce.

3. Analýza křižovatky po rekonstrukci

3.1 Popis křižovatky

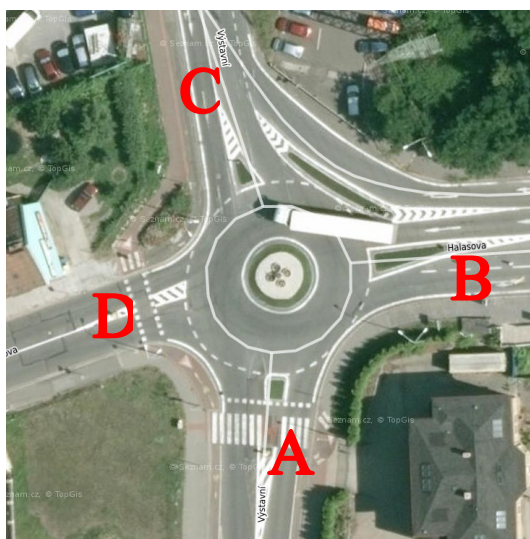
Přestavba původní průsečné křižovatky na okružní křižovatku (dále už jen OK) se nedotkla přilehlých chodníků, cyklostezek ani pozemkových parcel. Křižovatka byla provedena nalepením zvýšených žulových obrubníků o výšce 100 mm. Obrubníky byly nalepeny na stávající živičný povrch křižovatky. Se změnou organizace řízení křižovatky bylo nutné změnit vodorovné a stávající dopravní značení. Odvodnění křižovatky se provedlo do stávajících vpustí. Nalepenými obrubníky se vytvořily ostrůvky, které oddělily jízdní pruhy a dále vykonávají funkci psychologické brzdy.

Použité svislé dopravní značení: [9]

C1	kruhový objezd
C4a;b;c	příkázaný směr objíždění vpravo; vlevo; vpravo i vlevo
IS 9b	Návěst před křižovatkou

Použité vodorovné značení: [3]

V 1a, V 2a	směrové rozdělení jízdních pruhů
V 4	vodící čára
V 5	příčná souvislá čára
V 7	přechod pro chodce
V 8a	přejezd pro cyklisty
V 9a	směrové šipky
V 13a	dopravní stíny



Obr.č. 5 – Situace OK [10]

3.2 Dopravní nehodovost

Dle záznamů PČR se na křižovatce nebo v její těsné blízkosti za období 1. 10. 2014 – 4. 04. 2016 se staly **3 DN**, bez následků na zdraví. Dne 1. 1. 2009 nabyla v planost novela zákona o dopravních nehodách – zvýšení limitu hmotné škody pro povinnost hlášení nehody na Policii České republiky z původních 50 000 Kč na 100 000 Kč. Je proto možné, že o části dopravních nehod nevíme, z důvodu nepovinnosti přivolat k nehodě PČŘ[3].

Příčina vzniku DN:

nerespektování příkazu dopravní značky P4 „Dej přednost v jízdě“

3 DN

Po rekonstrukci se na okružní křižovatce staly minimálně 3 DN se škodou větší jak 100 000 Kč.



Obr. 6: statistické vyhodnocení nehodovosti v silničním provozu na vybrané lokalitě za období 1. 10. 2014. – 4. 10. 2016

3.3 Dopravní průzkum

Dopravní průzkum byl proveden v pátek 30. 10. 2015 ve dvou dvou-hodinových intervalech od 6:00 do 8:00 a od 14:00 do 16:00. Pátek není jako běžný pracovní den, byl zvolen z důvodu, že dopravní průzkum křižovatky před rekonstrukcí byl proveden v pátek. Špičková hodina I_{sh} dle průzkumu stanovena v čase 14:45 – 15:45.

Základní časovou jednotkou pro sčítání dopravy bylo 15 minut, sledoval jsem intenzity jednotlivých dopravních proudů a jejich složení s rozlišováním následujících druhů vozidel:

- O – osobní automobily (bez přívěsu i s přívěsem), mikrobusy
- N – lehké, střední a těžké nákladní automobily, traktory, dodávkové automobily
- K – přívěsové a návěsové nákladní soupravy
- A – autobusy
- M – jednostopá motorová vozidla
- C – jízdní kola [11]

3.3.1 Roční průměr denních intenzit

Výpočet se provede po zařazení vozidel do skupin dle tab. č 6. počítá se se skutečnými vozidly[8]

Tab. č.6 Zařazení do skupin[11]

Skupina	Druh
O	O
	M
N	N
	A
K	K
S	O+M+N+A+K

Přepočtení na denní intenzitu [11]

$$I_d = I_m \cdot k_{m,d} \quad /12/,$$

kde

I_d denní intenzita dopravy dne průzkumu (pátek) [voz/h]

I_m intenzita dopravy v době průzkumu [voz/počet hodin průzkumu]

$k_{m,d}$ přepočtový koeficient dopravy z doby průzkumu na denní intenzitu.

Hodnoty koeficientu $k_{m,d}$ pro charakter komunikací M – místní komunikace

$$\text{pro O, k } k_{m,d} = \frac{7,36+8,15}{2} = 7,755 \text{ [-]} \quad [11 \text{ (str 43)}]$$

$$\text{pro N, k } k_{m,d} = \frac{6,99+6,63}{2} = 6,810 \text{ [-]} \quad [11 \text{ (str 48)}]$$

$$\text{pro K, k } k_{m,d} = \frac{6,72+6,23}{2} = 6,475 \text{ [-]} \quad [11 \text{ (str 53)}]$$

Tab. č.: 7 Intenzita dopravy v době průzkumu 30.10.2015 14:00 - 16:00

RAMENO	Směr	I _m								
		O [voz/2h]	N [voz/2h]	K [voz/2h]	S [voz/2h]					
A	B	243	22	1	266	506	3488			
	C	200	6	0	206					
	D	24	10	0	34					
B	A	583	38	2	623	1580		3488		
	C	513	32	1	546					
	D	395	16	0	411					
C	A	587	34	2	623	957			3488	
	B	257	8	0	265					
	D	69	0	0	69					
D	A	133	24	0	157	445				3488
	B	182	2	0	184					
	C	96	8	0	104					

Denní intenzitu získáme součinem součinitele pro danou skupinu $k_{m,d}$ a intenzity dopravy v době průzkumu I_m . Výsledky zaokrouhlené na celá vozidla v následující tab. č.8.

Tab. č.: 8 Intenzita dopravy v den průzkumu

RAMENO	Směr	I _d					
		O [voz/den]	N [voz/den]	K [voz/den]	S [voz/den]		
A	B	1884	150	6	2041	3887	26853
	C	1551	41	0	1592		
	D	186	68	0	254		
B	A	4521	259	13	4793	12168	
	C	3978	218	6	4203		
	D	3063	109	0	3172		
C	A	4552	232	13	4797	7379	
	B	1993	54	0	2048		
	D	535	0	0	535		
D	A	1031	163	0	1195	3419	
	B	1411	14	0	1425		
	C	744	54	0	799		

Přepočtení na týdenní průměr denních intenzit I_t [11]

$$I_t = I_d \cdot k_{d,t} \quad /13/,$$

kde

I_t týdenní průměr denních intenzit [voz/den]

I_d denní intenzita dopravy v den průzkumu [voz/den]

$k_{d,t}$ přepočtový koeficient denní intenzity v den průzkumu na týdenní průměr denních intenzit [-].

$$k_{d,t} = \frac{100}{p_i^t} \quad /14/,$$

kde

p_i^t podíl denní intenzity dne průzkumu na týdenní průměr denních intenzit [%]

Hodnoty koeficientu p_i^t pro charakter komunikací M – místní komunikace.

pro O; $p_i^t=117,3$ [-] [11 (str 65)]

pro N; $p_i^t=124,1$ [-] [11 (str 66)]

pro K; $p_i^t=127,9$ [-] [11 (str 68)]

Obdobným součinem jako u Intenzity dopravy v den průzkumu získáme týdenní průměr denních intenzit, viz tab. č.: 9.

Tab.č. 9 Týdenní průměr denních intenzit I_t

RAMENO	Směr	I _t					
		O [voz/den]	N [voz/den]	K [voz/den]	S [voz/den]		
A	B	1607	121	5	1732	3301	22826
	C	1322	33	0	1355		
	D	159	55	0	214		
B	A	3854	209	10	4073	10344	
	C	3392	176	5	3572		
	D	2611	88	0	2699		
C	A	3881	187	10	4078	6277	
	B	1699	44	0	1743		
	D	456	0	0	456		
D	A	879	132	0	1011	2904	
	B	1203	11	0	1214		
	C	635	44	0	679		

Přepočtení na roční průměr denních intenzit (dále jen RPDI) I_t [11]

$$RPDI = I_t \cdot k_{t,RPDI} \quad /15/,$$

kde

$RPDI$ roční průměr denních intenzit -odhad [voz/den]

I_t týdenní průměr denních intenzit [voz/den]

$k_{t,RPDI}$ přepočtový koeficient týdenní průměrné denní intenzity na $RPDI$ [-].

$$k_{t,RPDI} = \frac{100\%}{p_i^r} \quad /16/,$$

kde

p_i^t podíl denní intenzity měsíce i v roce na ročním průměru denních intenzit dopravy [%].

Dosazení do vzorce /16/:

Hodnota koeficientu p_i^t pro charakter komunikací M – místní komunikace pro vozidla celkem $p_i^t = 103,6$ [%] [11 (str 68)]

$$k_{t,RPDI} = \frac{100\%}{p_i^r} = \frac{100\%}{103,6} = 0,965 \%$$

Dosazení do vzorce /15/:

$$RPDI_{2016} = I_t \cdot k_{t,RPDI} = 22\,826 \cdot 0,965 = 22\,032 \text{ voz/den}$$

3.3.2 Výhledové intenzity dopravy pro rok 2036

Pro komunikace, kde se nepředpokládá výrazná změna zdrojů a cílů dopravy lze použít přepočet růstovými koeficienty. Součinitelé se rozdělují na 2 skupiny vozidel – lehká a těžká doprava, dále nás zajímá třída komunikace. Jako referenční rok výpočtu je rok 2005. [10]

Roční průměr denních intenzit pro rok 2036 – $RPDI_{2036}$

$$RPDI_{2036} = RPDI \cdot k_{2036} \quad /17/,$$

kde

$RPDI_{2036}$ roční průměr denních intenzit v roce 2036 -odhad [voz/den]

$RPDI$ roční průměr denních intenzit v roce 2016 [voz/den]

k_{2036} koeficient vývoje intenzit dopravy pro rok 2036 [-].

Koeficient vývoje intenzit pro rok 2036 $k_{2036} = 1,49$ [-] [12 (str .22)]

Dosazení do vzorce /17/:

$$RPDI_{2036} = RPDI \cdot k_{2036} = 22\,032 \cdot 1,49 = \mathbf{32\,828\,voz/hod}$$

Tabulka č.10 směrové rozdělení $RPDI_{2036}$ [voz/hod]

	Vjezd	Výjezd
A	4748	13176
B	14877	6745
C	9027	8062
D	4176	4845

Špičková hodina intenzit v roce 2036 [12]

Vypočítáme dle vztahu:

$$I_{SH2036} = I_{sh} \cdot k_{2036} \quad /18/,$$

kde

I_{SH2036} výhledová špičková hodina v roce 2031 [voz/den]

I_{sh} špičková hodinová intenzita dopravy v běžný pracovní den [voz/den]

k_{2036} koeficient vývoje intenzit dopravy pro rok 2036 [-].

Tab. č.: 11 Špičková hodina intenzit pro rok 2036

pvoz/hod	do A	do B	do C	do D
z A	0	209	186	28
z B	502	0	453	347
z C	476	222	0	56
z D	124	166	90	0

3.4 Kapacitní výpočet

Tab. č.12 Intenzity na vjezdech ve špičkové hodině

pvoz/hod	do A	do B	do C	do D	Σ
z A	0	135	120	18	273
z B	324	0	292	224	840
z C	307	143	0	36	486
z D	80	107	58	0	245
Σ	711	385	470	278	

3.3.1 Intenzita dopravy na okruhu

Součet intenzit dopravních proudů, které projíždí profilem okružní křižovatky v místě před napojením vjezdu do okružní křižovatky.

$$I_{KA} = C \rightarrow A + D \rightarrow B + D \rightarrow C = 307 + 107 + 58 = \mathbf{308 \text{ pvoz/h}}$$

$$I_{KB} = A \rightarrow C + A \rightarrow D + D \rightarrow C = 120 + 18 + 58 = \mathbf{196 \text{ pvoz/h}}$$

$$I_{KC} = A \rightarrow D + B \rightarrow A + B \rightarrow D = 18 + 324 + 224 = \mathbf{566 \text{ pvoz/h}}$$

$$I_{KD} = B \rightarrow A + D \rightarrow B + D \rightarrow C = 324 + 307 + 143 = \mathbf{774 \text{ pvoz/h}}$$

3.3.2 Kapacita vjezdu

Kapacita vjezdu do okružní křižovatky je dána vztahem:

$$C_i = 3600 \cdot \left(1 - \frac{\Delta \cdot I_K}{n_k \cdot 3600}\right)^{n_k} \cdot \frac{n_{i,koef}}{t_f} \cdot e^{-\frac{I_k}{3600} \cdot \left(t_g - \frac{t_f}{2} - \Delta\right)} \quad /19/,$$

kde

C_i kapacita vjezdu [pvoz/h]

I_k intenzita dopravy na okruhu [pvoz/h]

n_k počet jízdních pruhů na okruhu [-]

$n_{i,kcoef}$	koeficient zohledňující počet jízdních pruhů na vjezdu [-]
t_g	kritický časový odstup [s]
f_f	následný časový odstup [s]
Δ	minimální časový odstup mezi vozidly jedoucími na okruhu za sebou [s].

Dosazení do vzorce /19/:

$$\begin{aligned}
 C_A &= 3600 \cdot \left(1 - \frac{\Delta \cdot I_A}{n_k \cdot 3600}\right)^{n_k} \cdot \frac{n_{A,kcoef}}{t_f} \cdot e^{-\frac{I_A}{3600} \cdot \left(t_g - \frac{t_f}{2} - \Delta\right)} = \\
 &= 3600 \cdot \left(1 - \frac{2,3.308}{1.3600}\right)^1 \cdot \frac{1}{3,1} \cdot e^{-\frac{308}{3600} \cdot \left(4,5 - \frac{3,1}{2} - 2,3\right)} = 885,8 \doteq \mathbf{886} \text{ pvoz/hod}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_B &= 3600 \cdot \left(1 - \frac{\Delta \cdot I_B}{n_k \cdot 3600}\right)^{n_k} \cdot \frac{n_{B,kcoef}}{t_f} \cdot e^{-\frac{I_B}{3600} \cdot \left(t_g - \frac{t_f}{2} - \Delta\right)} = \\
 &= 3600 \cdot \left(1 - \frac{2,3.196}{1.3600}\right)^1 \cdot \frac{1}{3,1} \cdot e^{-\frac{196}{3600} \cdot \left(4,5 - \frac{3,1}{2} - 2,3\right)} = \mathbf{982} \text{ pvoz/hod}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_C &= 3600 \cdot \left(1 - \frac{\Delta \cdot I_C}{n_k \cdot 3600}\right)^{n_k} \cdot \frac{n_{C,kcoef}}{t_f} \cdot e^{-\frac{I_C}{3600} \cdot \left(t_g - \frac{t_f}{2} - \Delta\right)} = \\
 &= 3600 \cdot \left(1 - \frac{2,3.556}{1.3600}\right)^1 \cdot \frac{1}{3,1} \cdot e^{-\frac{566}{3600} \cdot \left(4,5 - \frac{3,1}{2} - 2,3\right)} = 680,57 \doteq \mathbf{681} \text{ pvoz/hod}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_D &= 3600 \cdot \left(1 - \frac{\Delta \cdot I_D}{n_k \cdot 3600}\right)^{n_k} \cdot \frac{n_{D,kcoef}}{t_f} \cdot e^{-\frac{I_D}{3600} \cdot \left(t_g - \frac{t_f}{2} - \Delta\right)} = \\
 &= 3600 \cdot \left(1 - \frac{2,3.774}{1.3600}\right)^1 \cdot \frac{1}{3,1} \cdot e^{-\frac{774}{3600} \cdot \left(4,5 - \frac{3,1}{2} - 2,3\right)} = 530,58 \doteq \mathbf{531} \text{ pvoz/hod}
 \end{aligned}$$

U miniokružních křižovatek se za kritický a následný časový dostup dosadí následující hodnoty $t_g = 4,5 \text{ s}$; $t_f = 3,1 \text{ s}$. V případě že je vnější průměr okružní křižovatky $D > 23,00 \text{ m}$ dosazuje se za $\Delta = 2,3 \text{ s}$.

3.3.3 Rezerva kapacity vjezdu

Rezerva kapacity se vypočítá dle vztahu:

$$Rez = C_i - I_i \quad /20/,$$

kde

C_i kapacita vjezdu [pvoz/h]

I_i intenzita dopravy na vjezdu [pvoz/h].

$$Rez_A = C_A - I_A = 886 - 273 = \mathbf{613} \text{ pvoz/hod}$$

$$Rez_B = C_B - I_B = 982 - 840 = \mathbf{142} \text{ pvoz/hod}$$

$$Rez_C = C_C - I_C = 681 - 486 = \mathbf{194} \text{ pvoz/hod}$$

$$Rez_D = C_D - I_D = 531 - 245 = \mathbf{286} \text{ pvoz/hod}$$

3.3.4 Stupeň vytížení vjezdu

Stupeň vytížení je dán následujícím vztahem:

$$a_{v_n} = \frac{I_n}{C_n} \quad /21/$$

kde

C_n kapacita pruhu n-tého dopravního proudu [pvoz/h]

I_n návrhová intenzita n-tého dopravního proudu [pvoz/h]

$$a_{vA} = \frac{I_A}{C_A} = \frac{308}{886} = 0,347 \doteq \mathbf{0,35} \text{ [-]}$$

$$a_{vB} = \frac{I_B}{C_B} = \frac{196}{982} = 0,199 \doteq \mathbf{0,20} \text{ [-]}$$

$$a_{vC} = \frac{I_C}{C_C} = \frac{556}{681} = 0,832 \doteq \mathbf{0,83} \text{ [-]}$$

$$a_{vD} = \frac{I_D}{C_D} = \frac{774}{531} = 1,458 \doteq \mathbf{1,46} \text{ [-]}$$

3.3.5 Délka fronty na vjezdu

Dosazení a výpočty jsem přiložil v příloze č.2, pro větší přehlednost. Výsledky jsou uvedené v podkapitole 3.4, sumarizující výsledky kapacitního výpočtu.

3.3.6 Kapacita výjezdu

Kapacita výjezdu C_e se stanoví podle vztahu:

$$C_e = \frac{3600 \cdot n_{e,koeff}}{t_f} \quad /22/,$$

kde

C_e je kapacita výjezdu [voz/h]

$n_{e,koeff}$ koeficient zohledňující počet pruhů na výjezdu [-]

$n_{e,koeff} = 1,00$ pro jednopruhové výjezdy

t_f následný časový odstup vozidel na výjezdu z OK [s].

$$C_{eA} = \frac{3600 \cdot n_{e,koeff}}{t_f} = \frac{3600 \cdot 1}{3} = \mathbf{1200 \text{ voz/hod}}$$

$$C_{eB} = \frac{3600 \cdot n_{e,koeff}}{t_f} = \frac{3600 \cdot 1}{3} = \mathbf{1200 \text{ voz/hod}}$$

$$C_{eC} = \frac{3600 \cdot n_{e,koeff}}{t_f} = \frac{3600 \cdot 1}{3} = \mathbf{1200 \text{ voz/hod}}$$

$$C_{eD} = \frac{3600 \cdot n_{e,koeff}}{t_f} = \frac{3600 \cdot 1}{3} = \mathbf{1200 \text{ voz/hod}}$$

Kapacita výjezdu může být ovlivněna přilehlými přechody pro chodce, do výpočtu jí uvedeme, přesahuje-li kapacita chodců I_{ch} hodnotu 250 chodců/hod, nebo součet chodců a vozidel převyšuje nad hodnotu 800. V případě řešené křižovatky se s vlivem chodců nepočítá.

3.3.7 Stupeň vytížení výjezdu

Stanovíme u každého výjezdu dle vzorce:

$$a_v = \frac{I_e}{C_e} \quad /23/,$$

kde

I_n intenzita vozidel na výjezdu [voz/h],

C_n kapacita výjezdu [pvoz/h].

Vyjde-li $a_v < 0,9$ výjezd kapacitně vyhovuje,

pro $a_v \geq 0,9$ výjezd kapacitně nevyhovuje,

$$a_{vA} = \frac{I_{eA}}{C_{eA}} = \frac{711}{1200} = 0,592 \doteq \mathbf{0,59} [-] \quad \mathbf{0,59} < \mathbf{0,9} [-] \quad \text{Vyhovuje}$$

$$a_{vB} = \frac{I_{eB}}{C_{eB}} = \frac{385}{1200} = 0,321 \doteq \mathbf{0,32} [-] \quad \mathbf{0,32} < \mathbf{0,9} [-] \quad \text{Vyhovuje}$$

$$a_{vC} = \frac{I_{eC}}{C_{eC}} = \frac{470}{1200} = 0,391 \doteq \mathbf{0,39} [-] \quad \mathbf{0,39} < \mathbf{0,9} [-] \quad \text{Vyhovuje}$$

$$a_{vD} = \frac{I_{eD}}{C_{eD}} = \frac{278}{1200} = 0,232 \doteq \mathbf{0,23} [-] \quad \mathbf{0,23} < \mathbf{0,9} [-] \quad \text{Vyhovuje}$$

3.3.8 Střední doba zdržení, ÚKD

Hodnoty střední doby zdržení t_w a ÚKD vyčteny z grafu č. 1 uvedeného v příloze 3 a zapsány do tabulky výsledků v následující podkapitole.

3.6 Přehled výsledků kapacitního výpočtu OK

Tab. č.13: Výsledky kapacitního výpočtu okružní křižovatky

Značení dopravního proudu	Střední doba zdržení $t_w[s]$	ÚKD	Délka fronty na vjezdu $N_{95\%}[m]$	Stupeň vytižení výjezdu a_v
A	0	A	10	0,59
B	22	C	5	0,32
C	17	B	70	0,39
D	12	B	300+	0,23

4. Zhodnocení rekonstrukce

Z důvodu velkých rozměrů křižovatky nebylo nutné provádět velké stavební úpravy a celková přestavba se provedla bez nutnosti dlouhodobějšího odstavení dopravy po čas rekonstrukce, díky provedení formou lepení obrubníků.

Z hlediska **volby organizace dopravy**:

přestavba na okružní křižovatku je nejvhodnějším řešením. Z důvodu velkých intenzit na původní zalomené hlavní a malé vzdálenosti přilehlé křižovatky by návrh SSZ byl velmi neefektivní.

Z hlediska **kapacitních výpočtů**:

křižovatka před rekonstrukcí nevyhověla z hlediska ÚKD křižovatky. Křižovatky před rekonstrukcí měla ÚKD F, kapacita překročena na dvou jízdnicích proudech č.10 a 11. Po rekonstrukci se ÚKD křižovatky snížila na C. Délka fronty na problémových rameni C se zmenšila o 20, naopak na rameni D se markantně zvětšila. Zvětšení fronty má za následek vysoký stupeň vytižení vjezdu D.

Kapacita okružní křižovatky nevyhověla odhadovaným intenzitám pro rok 2036, viz příloha č.4.

Díky plynulejšímu provozu v křižovatce se také sníží množství škodlivých emisí ze spalování pohonných hmot.

Z hlediska **Dopravní nehodovosti**:

porovnával jsem období jednoho a půl roku před tj.04.04.2013 – 1.10.2014 a po rekonstrukci tj. 1.10.2014 – 04.04.2016. Dle záznamů PČR: viz příloha č.5.

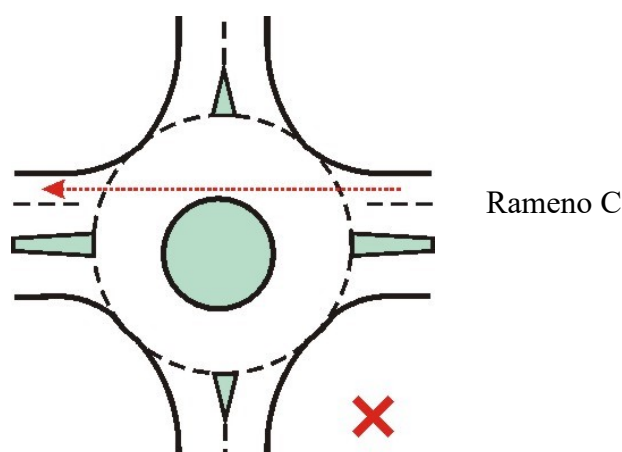
04.04.2013 – 1.10.2014 – 8 DN z toho 4 DN s následky na zdraví

1.10.2014 – 04.04.2016 – 3 DN bez následků na zdraví.

Od přestavby křižovatky se nestala žádná nehoda s následky na zdraví a celkový DN se za sledované období snížil o 5, což je 60 %.

5. Návrhy úprav

Křižovatku není v současné době nutno dále upravovat z kapacitních důvodů, navržené úpravy se provedly za účelem zvýšení bezpečnosti dopravy na miniokružní křižovatce. Jedná se o úpravu vjezdu z ramene C, do křižovatky. Vjezd do OK nemá dostatečné bezpečnostní prvky vedoucí k zpomalení řidiče, řidič není ani donucen změnit směr jízdy a může projet **okružní** křižovatku bez otočení volantem, což může mít za následek vjetí do křižovatky s vysokou rychlostí, jenž ostatní účastníci provozu neočekávají a nestihnou reagovat, viz obr.č.7. V příloze č.6 se zabývám návrhem psychologických brzd. Další návrh, se stavebními úpravami je ve výkresové části, společně s ověřením průjezdnosti v programu CAD Autoturn.



Obr.č.7: Nesprávné umístění středového ostrůvku[13]

6. Vizualizace v programu PTV VISSIM

PTV VISSIM je software pro mikroskopické simulace individuální i veřejné hromadné dopravy. Díky jeho vysokému detailu zpracování podrobností dokáže přesně simulovat provoz na křižovatkách.

Využití softwaru PTV VISSIM pro vizualizaci návrhu

V programu PTV VISSIM jsem namodeloval původní nevyhovující stav průsečné křižovatky se zalomenou předností. Poté jsem rovněž provedl simulaci nového stavu. Snímky z vizualizací jsou uvedeny v příloze č. 1.

7. Závěr

Rekonstrukce má značný přínos z hlediska bezpečnosti silniční dopravy. Změnou organizace dopravy z křižovatky průsečné se zalomenou předností na křižovatku okružní se zlepšila úroveň kvality dopravy a nyní kapacitně vyhovuje. Zlepšení plynulosti na křižovatce je také zřetelně vidět v simulacích, provedených mikrosimulačním programem PTV VISSIM.

Přestavba umožňuje plynulý provoz ze všech paprsků, což vede k eliminaci hlavního problému před rekonstrukcí, tj. tvoření velkých front na Výstavní ulici. Nalepení obrubníků vedlo k optickému zmenšení plochy křižovatky, což řidiče vede k zvýšení pozornosti při průjezdu.

Kladný přínos také potvrzuje snížení dopravní nehodovosti o 60% v porovnání s původním stavem za období jednoho a půl roku. Žádná z dopravních nehod po rekonstrukci neměla za následek újmu na zdraví účastníků dopravního provozu. Z redukce počtu dopravních nehod usuzují, že účastníci dopravního provozu na křižovatce, přijali změnu organizace dopravy bez problému.

Navržené úpravy by mohly vést k snížení konfliktních situací a tím předejít vzniku dopravních nehod. Hlavním faktorem při realizaci těchto úprav by byl poměr ceny a účinnosti jednotlivých úprav.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Dopravní nehodovost. [Http://projekt150.ha-vel.cz/](http://projekt150.ha-vel.cz/) [online]. VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/97>
- [2] Obr. č.: 1 uložen z webové stránky www.google.cz/maps
- [3] Zásady pro vodorovné dopravní značení na pozemních komunikacích: technické podmínky - TP 133 : s účinností od 15.8.2005. Brno: Centrum dopravního výzkumu, 2005. ISBN 80-86502-25-2.
- [4] Obr. č.: 2 vyfocen z analyzovaného videozáznamu křižovatky, nahraným Ing. Tomášem Malinou.
- [5] Statistické vyhodnocení nehodovosti ve vybrané lokalitě. www.jvdm.cz - *jednotná vektorová dopravní mapa* [online]. Dostupné z: <http://maps.jvdm.cz/cdv2/apps/nehodynalokalite/Search.aspx>
- [6] Video-analýza konfliktních situací. [Kds.vsb.cz](http://kds.vsb.cz) [online]. Dostupné z: <http://kds.vsb.cz/mkk/>
- [7] Příklad trojmístného klasifikačního symbolu. [Kds.vsb.cz](http://kds.vsb.cz) [online]. Dostupné z: <http://kds.vsb.cz/ord/videoanalyza-metoda.htm>
- [8] BARTOŠ, Luděk. Posuzování kapacity neřízených úrovnových křižovatek: TP 188. 1. vyd. Mariánské Lázně: Pro EDIP vydalo nakl. Koura, 2007. ISBN 978-80-902527-6-9.
- [9] Zásady pro dopravní značení na pozemních komunikacích: technické podmínky - TP 65 : s účinností od 1.12.2002 [online]. Vyd. 2. Brno: Centrum dopravního výzkumu, 2002 [cit. 2016-04-26]. ISBN 808650204X. Dostupné z: www.ibesip.cz/data/web/kampane/./besip-02-TP_65_2vydani.pdf
- [10] Obr. č.: 5 uložen z webové stránky www.google.cz/maps

- [11] BARTOŠ, Luděk. *Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích: TP 189*. 2. vyd. Plzeň: EDIP, 2012. ISBN 9788087394069.
- [12] BARTOŠ, Luděk, Aleš RICHTR, Jan MARTOLOS a Martin HÁLA. *Prognóza intenzit automobilové dopravy: TP 225*. 2. vyd. Plzeň: EDIP, 2012. ISBN 9788087394076.
- [13] Obr. č.: 7 uložen z webové stránky <http://kds.vsb.cz/ord/okruzni-typy.htm>

Seznam použitých obrázků

- Obr.:1 *situace křižovatky*
- Obr.:2 *délka fronty na rameni C*
- Obr.:3 *grafické znázornění dopravní nehodovosti za období 1. 1. 2007 – 4. 4. 2016*
- Obr.:4 *schéma křižovatky s očíslovanými dopravními proudy*
- Obr.:5 *situace OK*
- Obr.:6 *grafické znázornění nehodovosti na vybrané lokalitě za období 1. 10. 2014. – 4. 10. 2016*
- Obr.:7 *nesprávné umístění středového ostrůvku*

Seznam příloh

- příloha č. 1. *Fotodokumentace*
- příloha č. 2. *Výpočty délky fronty*
- příloha č. 3. *Graf ÚKD*
- příloha č. 4. *Kapacitní výpočet pro výhledový rok 2036*
- příloha č. 5. *Výstup z webových stránek PČR - Dopravní nehodovost*
- příloha č. 6. *Výkresová dokumentace*
- příloha č. 7. *CD (BP, přílohy, výkresy, PTV VISSIM)*